INRA mensuel
N°3 - 1990
Les Dossiers

Le blé à l'INRA : recherches et innovations



Dossier

Le blé à l'INRA : recherches et innovations

Le poids économique du blé et sa place dans notre vie quotidienne ne sont plus à démontrer. Symbole de notre alimentation, cette production doit cependant diversifier ses débouchés et rechercher une qualité optimale, adaptée aux technologies de transformation ; symbole de notre paysage agricole, la culture du blé doit aussi être le garant des équilibres biologiques et reposer sur des pratiques culturales respectueuses de l'environnement.
C'est dans ce contexte que s'effectuent les recherches de l'INRA ; biologistes, agronomes, généticiens, biochimistes, technologues, économistes... allient leurs efforts à ceux des professionnels pour assurer à cette production son dynamisme et sa place dans notre environnement socio-économique.



Photo : Gérard Paillard

Couverture :
Blé dur Durelle.
Photo : C. Slagmulder

Nouveaux itinéraires techniques

L'agriculteur se trouve aujourd'hui confronté à une double nécessité : assurer la rentabilité de son exploitation tout en mettant en oeuvre des pratiques culturales respectueuses de l'environnement.

C'est ainsi que sont proposés de nouveaux itinéraires techniques. Leur élaboration repose sur une connaissance approfondie des mécanismes d'élaboration des rendements qualitatif et quantitatif, des relations hôte-parasite, de la dispersion des fertilisants et des produits phytosanitaires dans l'environnement, enfin sur l'analyse des conséquences économiques du choix de telle ou telle technique culturale.

Nitrate et pollution

La pollution nitrique d'origine agricole est indéniable. Comment l'expliquer et la prévenir ? Les recherches entreprises sur le cycle de l'azote ont déjà apporté des éléments de réponse et conduit à la préconisation de pratiques culturales, dont il convient néanmoins de soutenir l'effort d'explication et d'application, en liaison avec les instituts techniques. Elles concernent :
- le raisonnement de la fertilisation des cultures par la méthode du bilan prévisionnel d'azote et la détermination d'un fractionnement optimal des apports en fonction de la culture et de la situation pédoclimatique,

- la gestion de l'azote pendant l'interculture par l'installation de cultures dérobées ou encore par une meilleure gestion des résidus de récoltes qui concourent dans les deux cas à bloquer temporairement l'azote soit sous forme d'azote organique végétal, soit sous forme d'azote organique microbien.

Une connaissance plus approfondie des processus impliqués dans le cycle de l'azote est cependant nécessaire. Les chercheurs s'attachent maintenant à modéliser l'évolution de l'azote minéral afin de prévoir les disponibilités instantanées du sol. Les processus de minéralisation, d'organisation, de pertes par voie gazeuse ou lixiviation seront évalués en fonction des caractéristiques microbiologiques et physicochimiques des sols, mais aussi en fonction des facteurs physiques : température, humidité et aération.
Par ailleurs, l'ajustement de la fertilisation suppose de définir, sur des pas de temps courts, les besoins en azote des peuplements cultivés. Une meilleure prévision des flux d'azote suivant l'état de la plante (développement, état nutritionnel) est alors nécessaire.
La gestion de l'azote doit être envisagée à l'échelle du système de culture et intégrer le degré de risque de pollution à court et moyen terme.
Enfin, les résultats obtenus pour la parcelle doivent être transposés et validés pour le bassin d'alimentation en eau. Il s'agit de vérifier que la mise en oeuvre de techniques agricoles correctrices peut effectivement conduire à une diminution de la concentration en nitrate des eaux.

Partenaires : I.T.C.F. - INA-PG - Rothamsted Expérimental Station (GB)

Des parasites sous haute surveillance

De nombreuses maladies ont pu être maîtrisées par l'utilisation des produits phytosanitaires : piétin-verse, rouille, oidium, septoriose. Mais la lutte chimique aussi efficace soit-elle, présente des inconvénients bien connus en terme de coût, d'acquisition possible de résistance du pathogène et de risques pour l'environnement.

L'association d'autres méthodes de lutte : pratiques culturales et sélection de variétés résistantes, nécessite d'approfondir les connaissances sur les relations hôte-parasite : variabilité, nuisibilité, épidémiologie du parasite, expression de la maladie, et sur les effets latéraux des pesticides.

C'est en ce sens que se poursuivent les travaux sur les **rouilles**, et également sur le **piétin-verse** et les **nématodes** pour lesquels des systèmes de lutte intégrée sont expérimentés.

Plus graves sont les problèmes posés par les agents pathogènes pour lesquels aucun moyen de lutte chimique n'existe à ce jour : **piétin-échaudage**, **rhizoctone**, **fusarioses du pied**, **maladies virales**.

Dans le cas des fusarioses et du rhizoctone, les recherches concernent essentiellement l'étude de la variabilité du parasite tandis que pour le piétin-échaudage des essais de lutte intégrée sont réalisés.

Deux types de maladies virales affectent plus ou moins fortement les blés d'hiver en France : les mosaïques et les jaunisses.

Les **virus de la mosaïque du blé** et de la **mosaïque jaune du blé** se maintiennent dans le sol associés à leur vecteur fongique. La **jaunisse nanisante de l'orge**, transmise par pucerons, présente une moindre gravité car la lutte chimique contre les vecteurs est efficace lorsqu'elle est réalisée dans de bonnes conditions. La variabilité des virus et des vecteurs, l'examen des relations vecteur-hôte et virus-hôte sont à l'étude et des sources de résistance à la mosaïque du blé ont pu être mises en évidence. Ces travaux ont également conduit à la commercialisation de kit de diagnostic de la jaunisse nanisante de l'orge et de la mosaïque du blé.

Le souci de limiter les traitements chimiques contre les vecteurs de la jaunisse nanisante de l'orge a suscité des recherches sur la prévision des risques. Un code d'avertissement agricole, combinant les risques d'infestation par les pucerons vecteurs et d'infection des cultures (évaluation de la charge en virus de plantes réservoirs), a été mis au point. Expérimenté en

Une nouvelle maladie du blé
Il s'agit d'une maladie de dégénerescence ; les premières images au microscope électronique permettent de penser que l'on est en présence d'une maladie à mycoplasme. Découverte en 1990, cette maladie grave dans la région Centre et dans l'Est peut nécessiter un retournement des parcelles. Le rôle des cicadelles, en particulier *Psammotettix alienus* dans la vection de l'agent de cette maladie est en cours d'étude.



Culture de *Fusarium roseum*
Photo : I. Vegh

Lutter contre le complexe parasitaire du pied des céréales
Les expérimentations de lutte intégrée sont prometteuses : elles combinent lutte culturale, lutte génétique et lutte chimique. L'apport d'azote ammoniacal diminue la réceptivité du sol au piétin-échaudage par stimulation de la flore antagoniste. L'utilisation d'une lignée tolérante au piétin-échaudage et résistante au piétin-verse, associée à un traitement fongicide des semences permet une réduction significative des attaques de piétin-échaudage et de piétin-verse, voire de rhizoctone.

Télédétection et prévision des risques
La télédétection dans l'infrarouge thermique (IRT) a été expérimentée avec succès pour la détection d'attaque de pietin-verse et du nématode *Heterodera avenae*. La présence du parasite perturbe les échanges d'eau entre le sol et la plante ; il en résulte une modification de température de surface, décelable par des mesures radiométriques dans l'IRT.
Cette méthode permet de mettre en évidence les attaques parasitaires avant l'apparition des symptômes visibles.

Estimation du taux de couverture du sol par radiométrie
Le taux de couverture du sol par une culture de blé tendre d'hiver au stade "tige + épi de 1cm" a été estimé à l'aide d'un radiomètre CIMEL opérant dans les bandes SPOT (rouge et infra-rouge proche) d'une manière instantanée et non destructrice. Ce taux de couverture est utilisé par des modèles fournissant la croissance en biomasse, à partir de laquelle on détermine le nombre potentiel d'épis au m^2, qui est la première composante du rendement.

SIMULBLE
Un prototype de ce simulateur de l'élaboration du rendement du blé a été réalisé en 1989. Il permet de simuler, pour une parcelle de caractéristiques connues (sol, histoire culturale), pour un itinéraire technique d'implantation donné (travail du sol, date et densité de semis), et pour différents scénarios climatiques :
• les dates de réalisation des différents stades,
• le rendement potentiel et ses composantes,
• les apports d'azote strictement nécessaires pour atteindre le potentiel,
• les risques de verse et de maladies correspondants.
L'utilisateur peut modifier tout ou partie de la conduite de la culture proposée (doses, dates,...) et/ou entrer les niveaux réels de certaines caractéristiques du peuplement ; le simulateur fournit alors le nouveau rendement, le nouvel itinéraire technique et les niveaux de risques afférents (verse, maladies, azote non valorisé).
Ce logiciel doit être perfectionné, complété (modules "variété", "mauvaises herbes", "qualité" encore absents ; modules "maladies", "azote", à améliorer), testé (confronté à des données expérimentales) et son domaine de validité (actuellement très restreint) étendu aux principales régions céréalières.
L'objectif est de parvenir à un simulateur opérationnel en 1992. Des itinéraires techniques, adaptés à des cahiers des charges variés issus de son fonctionnement, pourront être mis en expérimentation dès l'automne 1991. Son insertion dans un système d'aide à la décision est d'ores et déjà étudiée à partir du prototype.

Photo : R. Bruneau



Bretagne, il est en cours de validation dans d'autres régions.

Le blé, comme la majorité des plantes cultivées, forme des **endomycorhizes**. Ces symbioses jouent un rôle important dans la résistance aux parasites des racines : voici encore une nouvelle piste de recherche pour une protection raisonnée des cultures. Elle dépasse néammoins ce seul domaine, puisque l'effet bénéfique des mycorhizes est multiple : absorption des substances minérales, résistance au stress hydrique, aux métaux lourds, ...

Partenaires : ICTF, SPV, UNCAA, firmes phytosanitaires, SANOFI, ENSA Rennes, Rothamsted Experimental Station (GB), Université de Louvain-La-Neuve (B), BBA Institüt für Resistenzgenetik Grünbachk (RFA), Université de Halle (RDA).

Les rendements vus du ciel

Est-il possible de prévoir à plus ou moins long terme le rendement des cultures au plan régional ou national ?
La **télédetection** peut y contribuer : en effet, les mesures radiométriques et les images satellitaires sont le reflet du rayonnement réfléchi par un couvert végétal. Or celui-ci est lié à la quantité d'énergie qu'il absorbe et utilise par la photosynthèse. Actuellement, les recherches concernent surtout l'élaboration de référentiels : une discrimination fine des cultures (variétés et dates de semis différentes) à partir de leur profil spectral est en cours de réalisation, ainsi que des modèles d'estimation de la production adaptés à l'utilisation de données satellitaires.

Partenaires : ITCF, Chambres d'Agriculture, LERTS Toulouse, Société CIMEL - CEE - Ispra (IT)

Extensification, intensification ?

Le contexte agricole actuel - réduction des marges /ha et problèmes liés à l'environnement - conduit les chercheurs à envisager l'incidence économique et écologique d'une réduction des charges de production et d'une extensification de la culture.
Des références existent déjà dans différents domaines et permettent d'analyser l'incidence d'une modification de technique culturale (incidence d'une diminution des doses de fertilisants, changement d'une date de semis...). Ces références n'intègrent cependant pas l'interaction de plusieurs modifications.

C'est la raison pour laquelle d'autres modèles ont été élaborés associant l'ensemble des connaissances acquises.
Ainsi, grâce à l'utilisation **de modèles d'élaboration de rendement**, deux itinéraires techniques très contrastés ont pu être réalisés : le premier permet d'atteindre, avec une relative fiabilité, des objectifs de production élevés, proches des potentialités culturales (80 à 95 q/ha). Le second conjugue réduction de l'objectif de rendement et économie d'intrants. Le modèle répartit cette économie, de manière cohérente, sur plusieurs postes de charges (semences, traitements fongicides et régulateurs de croissance, fertilisation azotée), évitant aussi bien les gaspillages que des augmentations de risques inacceptables pour les producteurs. Le test des deux itinéraires en conditions agricoles montre qu'ils permettent d'atteindre des marges brutes équivalentes.
Des recherches sur l'utilisation de variétés de blé en mélange pour limiter l'emploi de fongicides et l'analyse des effets annuels et cumulatifs de systèmes de culture diversement intensifiés sur la flore adventice affineraient encore ces itinéraires techniques.

Par ailleurs, des simulateurs des effets de différents systèmes de culture sur la production et l'environnement sont en cours d'élaboration. C'est notamment le cas de SIMULBLE.

Partenaires : INA-PG, ITCF, Chambres d'Agriculture, Agricultural Research Service de Temple - USDA (USA).

Compétitivité et coût de production

La connaissance des coûts de production du blé tendre est encore très insuffisante en Europe. Le Réseau d'Information Comptable Agricole (RICA) de la CEE recueillent des résultats globaux qui permettent de connaitre le niveau des revenus agricoles et leur évolution dans les principales catégories d'entreprises. Mais les résultats économiques des principales cultures ne sont pas relevés.

Force est alors de recourir à des estimations indirectes. L'utilisation d'une méthodologie particulière, s'apparentant à une régression linéaire multiple, permet de calculer des marges brutes et des coûts de production à l'hectare de blé tendre, puis des coûts de production du quintal produit. Le rôle du facteur monétaire et le poids des différents éléments de charge ont été examinés en relation avec la variation des rendements physiques. Une analyse comparative des coûts de production du blé tendre en Europe a ainsi été réalisée pour les années 1983 à 1986. Les développements en cours concernent les effets d'échelle et les économies d'échelle, les variations régionales des coûts de production , les effets de substitution entre produits de grande culture et enfin la relation prix-coût, quand la rémunération du travail familial est paramétrée.

Partenaire : INSEE.



Blé tendre - variété Renan
Photo : C. Slagmulder

L'innovation génétique

La sélection du blé après hybridation date tout juste d'un siècle. Dans le même temps, les rendements moyens sont passés de 15 à 65 q/ha et la création variétale a joué un rôle de premier plan. Mais les objectifs de sélection comme les méthodes d'amélioration ont évolué. Qu'en est-il aujourd'hui ?

Quelle stratégie ?

La sélection généalogique, si elle est conduite trop longtemps, entraine une perte de **variabilité** car le nombre de parents utilisés à chaque cycle de sélection est limité ; elle sacrifie le progrès à long terme à la création variétale immédiate.

La **sélection récurrente** offre au sélectionneur la possibilité de mieux gérer cette variabilité. Cette méthode est basée sur la gestion de populations dans lesquelles de nombreux parents, retenus sur la base d'un taux de sélection modéré, sont intercroisés. A chaque cycle de croisements, par autofécondation et sélection, ces populations peuvent servir à la création variétale.

Renan : une nouvelle variété pour améliorer la qualité et diminuer les intrants

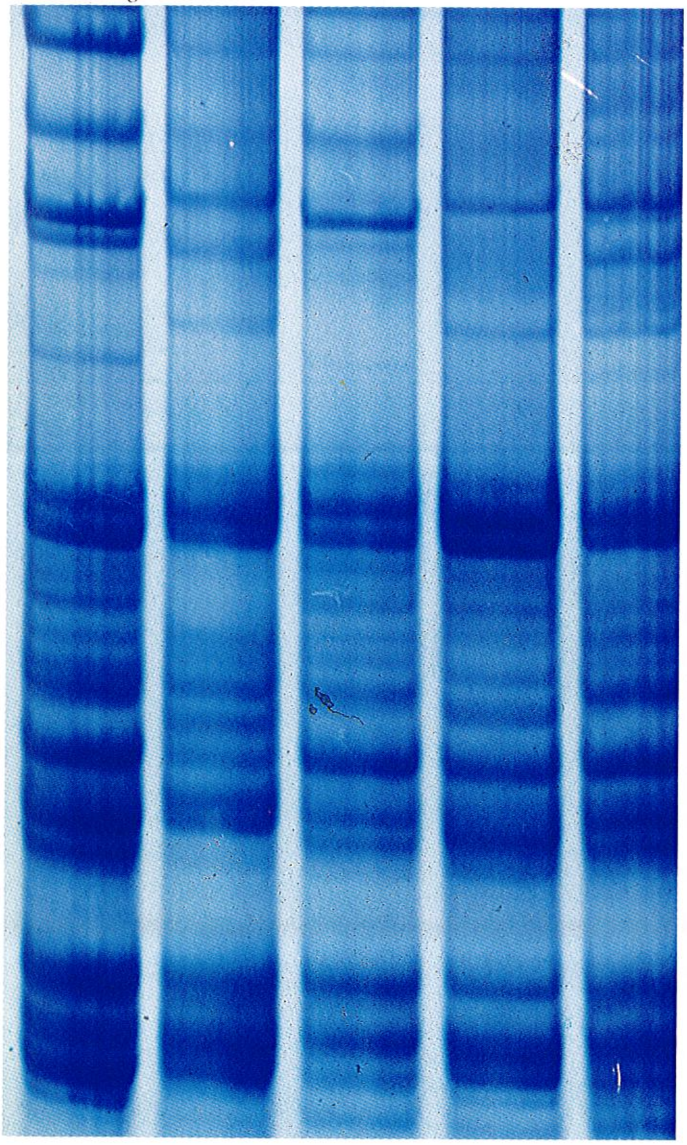
Renan, variété inscrite en 1989, cumule un niveau élevé de résistance aux maladies de la base des tiges, des feuilles et des épis, ainsi qu'une valeur boulangère très élevée. De productivité moyenne, cette variété semi-tardive est surtout adaptée au nord de la Loire. Cette sélection a été réalisée dans la descendance d'un hybride double entre géniteurs INRA et variétés étrangères. Une autre lignée de productivité plus élevée, sélectionnée à partir du même croisement pourrait être inscrite au catalogue officiel en 1991.

Essais variétaux
Photo : M. Gosselin



Marquage moléculaire du génome du blé
Une sonde d'ADN (courte séquence d'ADN marquée) peut s'hybrider d'une manière spécifique avec de l'ADN génomique de deux lignées génétiquement différentes ; un marquage moléculaire est ainsi possible. L'ADN est coupé par une enzyme de restriction, purifié et soumis à l'électrophorèse pour être hybridé avec la sonde. Pour certaines de ces sondes, un polymorphisme de l'ADN peut être repéré à l'intérieur de l'espèce et cette technique appelé "RFLP" (Restriction Fragment Length Polymorphism) doit permettre un marquage dense du génome et la mise en évidence de liaison avec des gènes à effet qualitatif ou quantitatif.
Cet outil moléculaire permettra une meilleure connaissance des gènes et de leur fonctionnement et donc une plus grande efficacité de la sélection.

Electrophorèse des gliadines.
Photo : C. Slagmulder



Par ailleurs, grâce aux outils de la **biochimie et de la biologie moléculaire**, il devient possible d'analyser de manière très fine le génome et de structurer la variabilité génétique, ce qui permettra une meilleure utilisation et une meilleure gestion à long terme du matériel génétique.

Enfin, même si aujourd'hui aucune méthode de **transfert de gène** chez le blé n'est encore totalement au point, différentes pistes sont étudiées. En particulier, l'utilisation de la phase haploïde lors de la formation des grains de pollen et des ovules est envisagée pour pratiquer des transformations génétiques, soit en culture de microspores isolées, soit au cours de la fécondation.

Créé à l'initiative du Bureau des Ressources Génétiques, le "Centre Français de Ressources Génétiques des Céréales" contribuera également au maintien de la diversité génétique. Il devrait regrouper les laboratoires de recherche fondamentale, l'enseignement, les instituts techniques, les sélectionneurs privés et les autres partenaires de la filière.

Raccourcir le temps de sélection est désormais possible grâce à la culture *in vitro* d'ovules ou de grains de pollen. Elle conduit rapidement, après doublement du stock chromosomique, à des individus totalement homozygotes qui offrent la possibilité d'étudier les produits directs des méïoses. Ces haploïdes doublés peuvent être utilisés comme géniteurs dans les plans de croisement ultérieurs et permettent de juger de l'aptitude des parents à donner, en descendance, une variabilité génétique large.

Par ailleurs, la mise au point de **critères de sélection biochimiques ou moléculaires** comme par exemple la présence de certaines gluténines ou gliadines dans le grain de blé permet de prédire très tôt en sélection la valeur d'utilisation des variétés sans que l'influence du milieu ne vienne compliquer l'interprétation du résultat.

Quels objectifs ?

Si le rôle de l'INRA est avant tout d'élaborer des stratégies d'amélioration mises à la disposition des sélectionneurs, une activité de création de matériel végétal, géniteurs principalement et variétés, est également poursuivie.

La résistance aux fluctuations climatiques et aux maladies est sans cesse améliorée et constitue sans nulle doute un des objectifs prioritaires de la sélection. Mais ce sont aussi le développement de nouvelles technologies de panification ou de pastification et la diversification des utilisations industrielles qui conduisent à élargir la gamme des caractéristiques variétales. La variété Renan en est un bon exemple.

Partenaires : GIE Blé dur, Club des 5, ITCF, CNRS, Université Paris XI, Hybriblé, Bureau des Ressources Génétiques, Organismes de recherche publics étrangers.

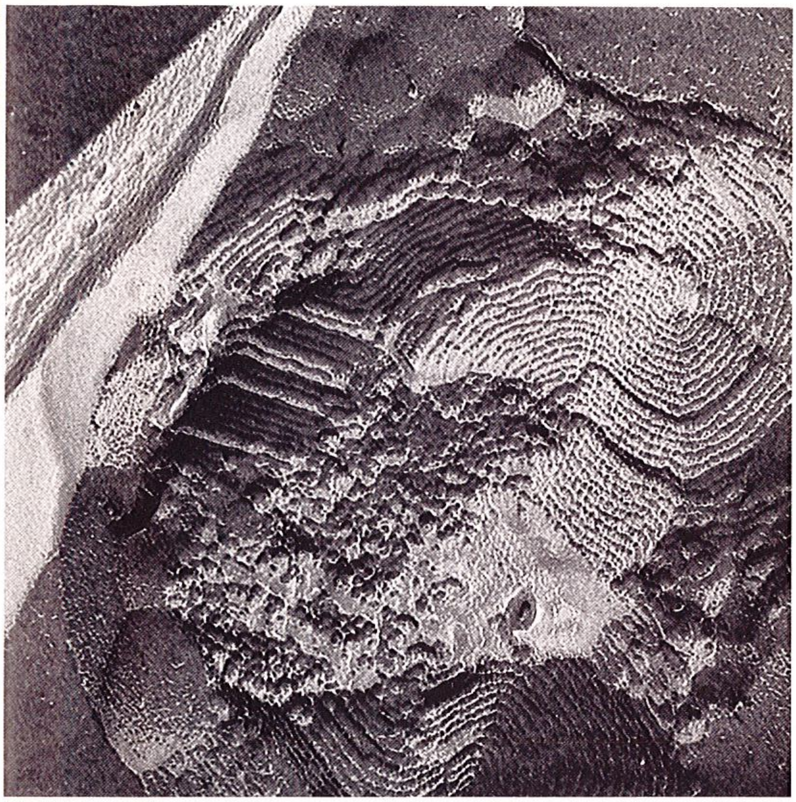
La qualité technologique des blés

De la qualité de la matière première dépend la qualité du produit fini. Ainsi, la connaissance précise des constituants du grain de blé responsables de sa qualité technologique, la définition de leurs déterminants génétiques et le rôle des paramètres agro-climatiques constituent des clés indispensables à l'ensemble des agents de la filière : sélectionneurs, agriculteurs et transformateurs.

Des travaux déjà anciens ont montré l'importance des protéines du gluten -gliadines et gluténines- ainsi que certaines enzymes et lipides, dans l'aptitude des blés à être transformés en pain ou en pâtes. Dans le premier cas, on recherche une farine qui, en présence d'eau, forme une pâte capable de retenir le gaz carbonique produit par les levures lors de la fermentation. Dans le second cas, la pâte doit être capable d'emprisonner les granules d'amidon lors de leur gélification, afin d'éviter les pertes à la cuisson et le "collant". Ces qualités dépendent de l'aptitude des molécules du gluten à former des complexes : leur faculté d'agrégation conditionne l'extensibilité et l'élasticité de la pâte.

Les protéines interviennent par leur nature - déterminée par la variété utilisée - et par leur quantité relative - liée aux conditions de cultures.

Structure liquide cristalline de type hexagonale adoptée par les lipides membranaires dans la farine de blé tendre. (x 100 000). Photo : D. Marion



Les molécules et les gènes de la qualité

Des **techniques de séparation et de dosage** de plus en plus performantes, corrélées à des microtests rhéologiques mesurant extensibilité et élasticité de la pâte, permettent d'appréhender finement nature, teneur et rôle fonctionnel de ces protéines.
Ainsi, les techniques de séparation par chromatographie "haute performance" (HPLC) ne détruisent pas les complexes formés et permettent donc d'analyser la manière dont les molécules sont associées. L'exploration des superstructures lipoprotéiques de type membranaire au moyen de méthodes physiques (RMN) débute, de même que l'approche immunochimique en vue du microdosage spécifique de certaines protéines.

L'examen du rôle **des gluténines de haut poids moléculaire (HPM) et de faible poids moléculaire (FPM)** de blé tendre se poursuit. L'accent est mis sur les gluténines FPM et **les complexes lipoprotéiques** ; l'extensibilité de la pâte semble en effet très liée à ces complexes.
Concernant le blé dur, on s'intéresse davantage aux **gluténines FPM** dont le rôle fonctionnel (propriétés viscoélastiques du gluten) semble mieux établi que celui des gamma-gliadines qui ne seraient en fait qu'un marqueur génétique de cette fonctionnalité, et aux **CM protéines** (protéines de faible poids moléculaire riches en soufre et solubles dans le Chloroforme/Méthanol).

En complément de ces travaux, le **clonage, l'isolement, le séquençage des gènes "de la qualité"** sont réalisés (gènes de structure et gènes de régulation). Jusqu'à maintenant, les recherches ont surtout porté sur le contrôle génétique de la composition en gluténines HPM. Trois loci sont responsables de leur synthèse. Quatre nouveaux allèles pour le blé tendre et quatre autres pour le blé dur viennent d'être découverts. La connaissance de ces allèles est utile pour l'identification des blés (en complément du polymorphisme des gliadines) et pour la réalisation de croisements en vue d'améliorer la qualité ; rappelons qu'il s'agit de gènes à effets majeurs qui peuvent être utilisés en sélection. L'isolement des gènes codant pour les glu-

Un catalogue des gluténines de haut poids moléculaire des blés *(Triticum aestivum - T.durum)*
Ce catalogue décrit la diversité biochimique et génétique des sous-unités gluténines (HPM) de plus de 1500 blés tendres et durs d'origines très diversifiées. L'ensemble doit permettre au sélectionneur d'opérer des choix de géniteurs, de faire des classifications et des comparaisons.

De nouveaux gènes de la qualité ont été clonés
Après avoir montré l'importance des CM protéines dans l'état de surface des pâtes alimentaires, des clones d'ADNc codant pour les CM2, CM3 et CM16 protéines ont été isolés et séquencés. La structure primaire de ces protéines a ainsi pu être établie. Ces résultats vont permettre des études sur les relations structure-fonction, notamment par des techniques de mutagenèse dirigée. De plus, à l'aide de vecteurs d'expression, il est possible de produire ces protéines chez *E.Coli*. Ce résultat est d'ores et déjà obtenu pour la CM16 protéine du blé dur.

ténines FPM et les CM protéines dans le cas du blé dur est également en cours de réalisation.

Partenaires : ITCF, Universités Paris VI, Paris XI, Perpignan, Montpellier, Clermont-Ferrand, ENSA Montpellier, GIE Club des 5, GIE Blé Dur, Ets Roquette, Champagne Céréales, BSN, Panzani, Du Pont de Nemours, Orsan, Institut de Céréaliculture - Milan (IT), Université de Milan (IT), Universités de Viterbo et de Barcelone (ES), AFRC : Rothamsted-Norwich-Long Ashton (GB), PBI (GB), Laboratory of government chemists (GB), LSB - Washingthon (USA), Station de Gembloux (B).

Sol, climat et qualité

Comment s'élabore le rendement qualitatif du blé ? Quelles sont les phases de développement essentielles, quels sont les facteurs limitants et à quel moment sont-ils vraiment critiques ?

La réponse à ces questions devrait permettre une maîtrise optimale de l'alimentation minérale et hydrique des cultures et son adéquation à la qualité recherchée.

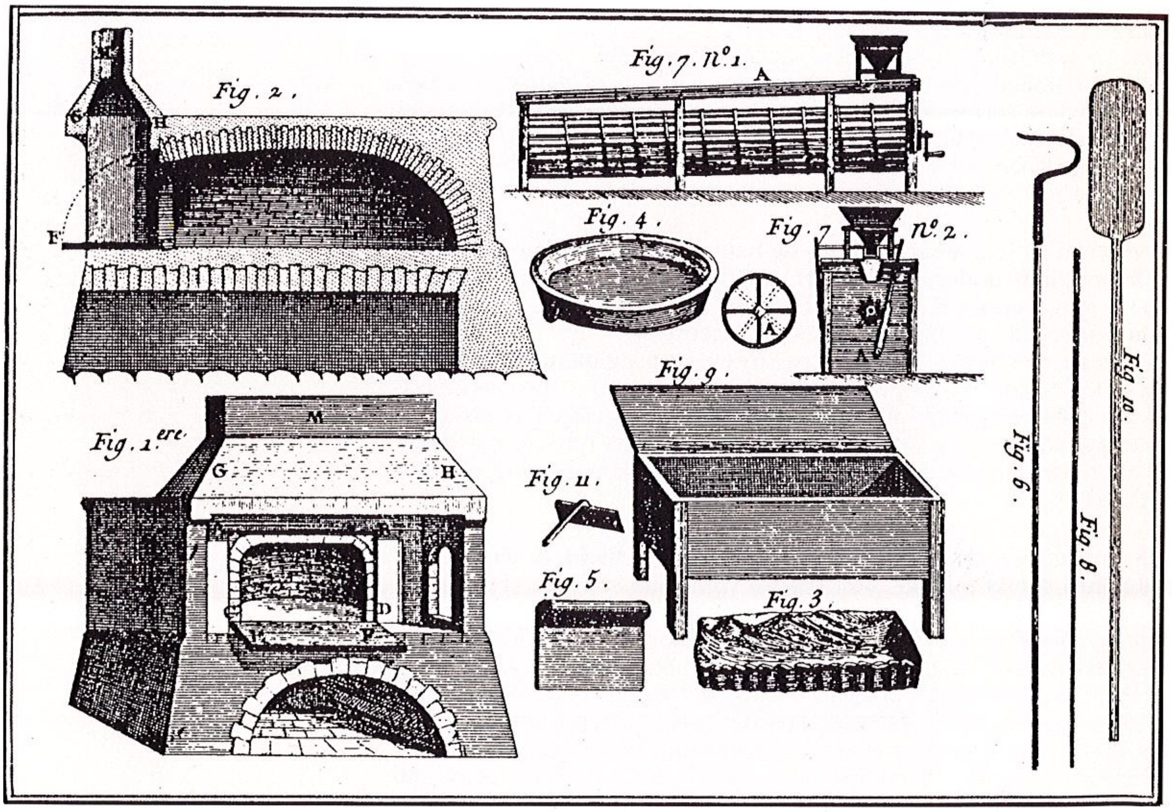
Ce sont aussi des modèles de simulation d'élaboration de rendements qui découlent de ces travaux d'écophysiologie et qui servent "d'aide à la décision" dans le choix des variétés en fonction de l'implantation géographique de la culture et selon les objectifs qualitatifs et quantitatifs préalablement fixés.

L'effet des différents facteurs du milieu nutritionnel et climatique sur la vitesse et la durée de remplissage du grain - donc sur l'élaboration du rendement quantitatif - a déjà été analysé, en complément de l'effet variétal.

C'est maintenant le déterminisme de la nature et des quantités relatives des différentes protéines de réserve qui est recherché ; leur taux relatif d'accumulation et les remaniements biochimiques des différents constituants du grain qui interviennent pendant la période de maturation et de déssication conditionnent en effet la qualité du blé.

Partenaires : ITCF, CETA, Chambres d'Agriculture, Coopératives agricoles, INA-PG

Encyclopédie Diderot



Transformation des blés

La production française de blé tendre ne cesse de croître alors que son utilisation par les industries de cuisson se maintient à peu près au même niveau. Les exportations se développent mais la concurrence internationale est de plus en plus vive.

Dans ce contexte, il est donc indispensable d'accroître la qualité des blés destinés à la panification, de maîtriser au plan technique comme économique les débouchés traditionnels, mais aussi de rechercher d'autres utilisations industrielles. C'est ainsi que ce sont engagées les recherches pour la valorisation du gluten et de l'amidon.

Dans le même temps, afin de conforter le marché du blé dur, de nombreux travaux concourant à une plus grande maîtrise des techniques de pastification ont été développés en relation étroite avec les industriels concernés.

Le pain : comment se développe son arôme ?

Quelques 200 composés volatils contribuent à l'arôme du pain ; un quart environ ont été identifiés. On considère que c'est au moment de la fermentation qu'ils se développent. Il serait alors possible d'améliorer la qualité aromatique d'un pain par sélection des souches de levures les plus aptes à produire ces molécules odorantes.

Mais qu'en est-il réellement ? La comparaison des profils chromatographiques de pâte fermentée ou non a mis en évidence des variations de certains composés (acétoïne, méthyl-2 et méthyl-3 butanol-1, 2 phényléthanol) ; en revanche, les mêmes analyses réalisées sur la mie de pain fermentée et non fermentée (levures inhibées) ne révèlent pas de différences significatives, ce qui infirmerait donc le rôle dévolu aux fermentations quant à la formation de la flaveur de la mie. Mais une augmentation de la teneur en sucres fermentescibles et acides aminés libres dans la pâte, par le biais d'activités enzymatiques controlées, pourrait renforcer la production d'arômes dans la mie de pain : tel est l'axe de recherche actuellement poursuivi, ainsi que la sélection des souches les plus performantes (étude de la levure *Saccharomyces cerevisiae* S 47).

Partenaires : Pain-Jacquet - Lesaffre

Les pâtes alimentaires : derniers progrès technologiques

L'introduction des hautes températures dans le séchage des pâtes alimentaires a représenté une percée technologique importante.

La prochaine étape sera l'optimisation globale des diagrammes et des matériels de séchage, grâce à la modélisation simultanée des transferts d'eau pendant le séchage, des défauts de fissuration et de la qualité des produits finis : couleur et qualité culinaire.

Le rapide développement industriel de cette technologie a ouvert de nouveaux champs d'investigation. Elle entraine en premier lieu une évolution des critères de sélection : tout en maintenant la qualité de base actuelle, les sélectionneurs devront s'efforcer d'améliorer la présentation (coloration, résistance à la moucheture...). De plus, la fabrication de pâtes alimentaires à partir d'autres matières premières que le blé dur (maïs...) est désormais possible et expérimentée dans les pays tropicaux où il n'est pas cultivé. Enfin, une méthode de dosage du blé tendre dans les produits séchés à très haute température, en cours d'élaboration au plan européen, permettra de garantir au consommateur la nature des matières premières utilisées.

Axe de recherche le plus récent, la mise en forme des pâtes alimentaires est étudiée dans le cadre du programme "Aliment 2000". L'objectif est de prévoir la transformation physique et chimique des constituants de la pâte au cours de l'extrusion. A terme, ces travaux devraient permettre le développement d' extrudeurs plus performants et la conduite automatisée des lignes de production des pâtes alimentaires.

Partenaires : Ministère de l'Agriculture, CEE-BCR, CIRAD-IRAT, ITCF, SIFPAF, CFSI, Université Montpellier II, ENSIA, Ecole des Mines, AFREM Ingénierie.

Le séchage à très haute température des pâtes alimentaires

Le séchage à très haute température (70 à 100°) se traduit par des effets différents selon l'humidité à laquelle les hautes températures sont appliquées. En début de séchage (à humidité élevée), elles entrainent uniquement une amélioration de la couleur par une inactivation des enzymes qui détruisent les pigments jaunes et développent le brunissement. Appliquées en fin de séchage (à faible humidité), une nuance rouge peut apparaître mais la qualité culinaire du produit fini est améliorée par induction d'un réseau protéique stable sans que l'amidon ne soit dégradé. Le séchage à très haute température connait un développement important en France et dans le monde.

Photo : Gérard Paillard



Diversifier les débouchés agroindustriels

• Fractionnement du blé : quelles nouvelles perspectives ?

D'ores et déjà, la séparation du gluten et de l'amidon est réalisé industriellement.

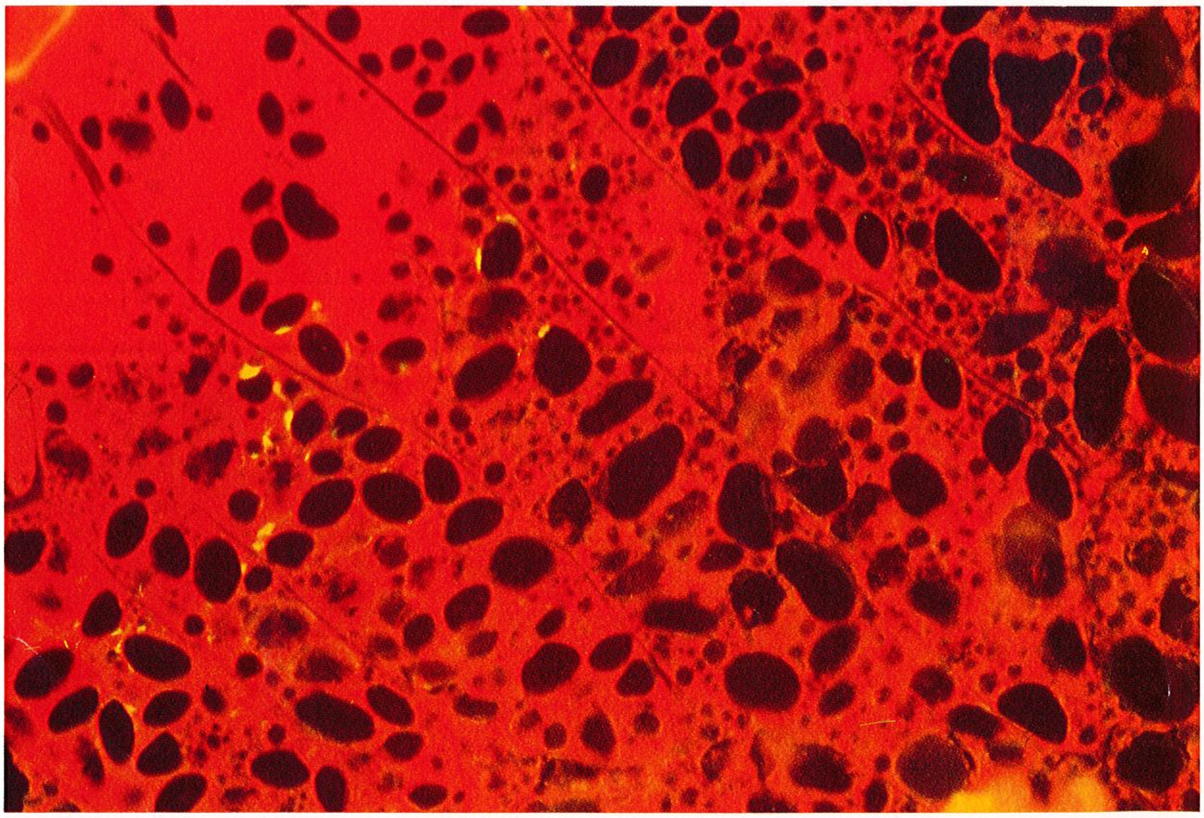
Le gluten sert principalement à renforcer les farines et l'installation pilote INRA d'extraction de gluten en échelle réduite a permis de quantifier les paramètres intervenant dans le rendement glutenier, de classer les variétés de blés selon leurs aptitudes gluténières (teneur et qualité des protéines) et de tester les variétés nouvelles.

Mais la situation du marché du gluten ces dernières années implique de développer des applications industrielles autres que celles des industries de cuisson.

Par modification physico-chimique des protéines, il est possible de changer radicalement les propriétés d'utilisation des produits fabriqués : ainsi, après désamidation chimique, les protéines du gluten deviennent solubles dans l'eau, ce qui leur confère de nouvelles propriétés autorisant son emploi dans la formation et la stabilisation d'émulsion et de mousses.

D'autres voies de recherche s'ouvrent sur l'utilisation d'enzymes modifiant spécifiquement les protéines du gluten (taille, charge...). L'obtention de peptides possédant des propriétés tensioactives, filmogènes, gelifiantes, voire pharmacologiques, sont autant de possibilités qui élargissent l'utilisation du gluten à d'autres fins que la biscuiterie et la panification, et lui ouvre les marchés de l'agroalimentaire : charcuterie (rétention d'eau et de matières grasses), industries des crèmes glacées, des boissons pour les sportifs, ...

Grain de blé en fluorescence : gliadines fluorescentes, grains d'amidon ronds ou ovales.
Photo : Anh Tuan Vu



L'amidon, quant à lui, est utilisé à l'état natif dans des applications alimentaires et dans les industries des colles et du papier. Les traitements d'hydrolyse et d'isomérisation l'ont également fait entrer sur le marché des substances sucrantes, en concurrence avec le saccharose et ses dérivés.

Mais la production de petites molécules par fermentation (antibiotiques, acides aminés, biopolymères), l'emploi de l'amidon comme additif alimentaire après modification de ses propriétés fonctionnelles (par traitement phy-

sique ou chimique), enfin son utilisation en matériau d'emballage, après incorporation dans des matières thermoplastiques, sont autant de voies de diversification prometteuses.

• Blé et bioéthanol

Techniquement, la production d'éthanol à partir de blé (grains ou pailles) ne pose pas de problème. Pour augmenter sa rentabilité, diverses voies sont ouvertes comme la mise au point de traitements simples qui permettraient d'éviter les étapes de mouture, d'empesage ou d'hydrolyse des procédés classiques, ou la recherche de possibilités de valorisation des composés protéiques des drèches de distillation.

Ce sont aussi des travaux de microbiologie qui pourraient conduire à une réduction des coûts de production : l'utilisation de levures (*Pachysolen tanophilus, Pichia stipitis, Candida shebatae*), dont on a mis récemment en évidence leur capacité à convertir le xylose (qui représente 25 % des sucres de la paille de blé) en éthanol permet d'augmenter de 35% le rendement global de la conversion alcoolique des lignocelluloses du blé. Les conditions optimales de fermentation sont maintenant recherchées (quantité d'oxygène à transférer, concentration initiale en substrat), toujours en utilisant un milieu modèle et un hydrolysat réel de paille de blé.

• Diversification : quelles contraintes économiques ?

La maîtrise technique d'un nouveau débouché pour le blé ne saurait suffir à son développement industriel : l'examen de sa faisabilité économique est indispensable.

Un premier niveau d'étude concerne l'entreprise : ainsi, dans le cadre des nouvelles utilisations des protéines du blé, une analyse des capacités des entreprises du secteur agro-alimentaire à adopter des innovations technologiques est en cours de réalisation.

Des analyses macro-économiques sont en outre poursuivies ; deux secteurs ont retenus l'attention des chercheurs : l'utilisation de l'amidon de blé et la production de bioéthanol.

Quelle concurrence entre céréales et betteraves sur le marché des sucres et de leurs dérivés ? L'objectif est d'évaluer les effets engendrés par des évolutions potentielles de la règlementation dans le sens d'une libéralisation de ces secteurs et d'analyser l'intérêt des schémas de transformation conduisant à la production de nombreux co-produits destinés tant aux marchés alimentaires que non-alimentaires.

Quel intérêt public pour la production d'éthanol ? On sait en effet que, compte-tenu des prix des produits agricoles dans la CEE, elle n'est possible sans l'intervention de la puissance publique. En fait, une telle production n'est économiquement intéressante que lorsque le prix mondial des céréales est faible et le prix du pétrole élevé. L'analyse est poursuivie dans le cadre des propositions Mc Sharry pour une aide aux productions non alimentaires. Elle est développée à l'échelle régionale pour prendre en compte la diversité des situations de production.

L'analyse des marchés de diversification ne doit pas faire oublier les marchés traditionnels du blé, tenus d'évoluer en fonction des nouvelles contraintes de marché. Une typologie d'entreprises des organismes collecteurs et des meuniers devrait ainsi permettre une meilleure connaissance, en terme de segmentation, de l'offre et de la demande, particulièrement en ce qui concerne la qualité des produits.

Partenaires : Etablissements Roquette, Teustar Aquitaine, Les Grands Moulins de Paris, la Féculerie Coopérative de Vic sur Aisne, Champagne Céréales, la Générale des Farines France, Du Pont de Nemours, SOPRA, Unimie, ITCF, coopératives agricoles, CNRS Toulouse, ENS Paris, Agence Française pour la Maîtrise de l'Energie, Université Montpellier II, IFR Norwier (GB), AFRC Bristol (GB), Zentral Institut für Ernährung Potsdam (RDA), Université Laval (Québec).

Laboratoires INRA travaillant sur le blé

1- Station d'agronomie - Lille
2- Station d'agronomie - Toulouse
3- Station d'agronomie et mycologie - Clermont-Ferrand
4- Laboratoire d'agronomie - INRA-INA-PG - Grignon
5- Station d'agronomie - Dijon
6- Station de recherches grandes cultures - Colmar
7- Station de bioclimatologie - Grignon
8- Station de bioclimatologie - Avignon
9- Station d'amélioration des plantes - Clermont-Ferrand
10- Station d'amélioration des plantes - Montpellier
11- Station d'amélioration des plantes - INRA-ENSA - Rennes - Le Rheu
12- Laboratoire d'amélioration des plantes - INRA-ENSA - Toulouse
13- Station de génétique et d'amélioration des plantes - Dijon
14- Station de génétique et d'amélioration des plantes - Lille
15- Station de génétique et d'amélioration des plantes - Versailles
16- Groupement d'intérêt scientifique - Moulon - INRA-CNRS-Université Paris XI-INA-PG - Gif s/Yvette
17- Station de pathologie végétale - Versailles
18- Station de pathologie végétale - INRA-ENSA- Rennes - Le Rheu
19- Laboratoire de recherches de la chaire de pathologie végétale - INRA-INA-PG-Grignon
20- Station de recherches de zoologie - Versailles
21- Laboratoire de recherches de la chaire de zoologie-INRA-ENSA- Rennes
22- Service de recherches intégrées sur les productions végétales et la protection des plantes - SRIV -Unités de Rennes et de Versailles
23- Laboratoire d'étude des protéines - Versailles
24- Laboratoire de biochimie et de technologie des protéines -Nantes
25- Laboratoire de microbiologie et technologie céréalière - Nantes
26- Laboratoire de technologie appliquée à la nutrition - Nantes
27- Laboratoire de technologies des céréales - Montpellier
28- Laboratoire de Biotechnologie de l'Environnement des IAA - Narbonne
29- Station d'économie et de sociologie rurale - Toulouse
30- Station d'économie et de sociologies rurales - INRA-INA-PG -Grignon
31- Unité de recherches sur les systèmes agraires et le développement - Paris-Grignon
32- Laboratoire d'économie et de sociologie rurale - Ivry

Domaines et stations expérimentales INRA

Domaine expérimental d'Epoisses - Dijon
Domaine expérimental de Melgueil -Montpellier
Domaine expérimental de Rennes - Le Rheu
Domaine expérimental de Versailles
Domaine expérimental de St Paul - Avignon
Domaine expérimental de Bourg-Lastic et de Crouelle - Clermont-Ferrand
Domaine expérimental de Toulouse
Service d'expérimentation de Colmar

GEVES : Groupement d'études des variétés et des semences

Abréviations : CIRAD : Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement - CETA : Centre d'Etudes Techniques Agricoles - CFSI : Comité Français de la Semoulerie Industrielle - CNRS : Centre National de la Recherche Scientifique - ENS : Ecole Nationale Supérieure - ENSA : Ecole Nationale Supérieure Agronomique - ENSIA : Ecole Nationale Supérieure des Industries Agricoles et Alimentaires - INA-PG : Institut National Agronomique-Paris Grignon - INSEE : Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques - ITCF : Institut Technique des Céréales et des Fourrages - IRAT : Institut de Recherches Agronomiques Tropicales et des cultures vivrières - LERTS : Laboratoire d'Etude et de Recherche en Télédetection Spatiale - SPV : Service de la Protection des Végétaux - Ministère de l'Agriculture - UNCAA : Union Nationale des Coopératives Agricoles d'Approvisionnement - SIFPAF : Syndicat des Industriels Fabricants de Pâtes Alimentaires Français.

Directeur de la publication : Marie-Françoise Chevallier-Le Guyader, Responsable de l'INRA Mensuel à la DIC : Denise Grail, P.A.O. : Pascale Inzérillo , Photothèque INRA

Dossier réalisé par Martine Georget (DIC) avec la collaboration de :

J. Abecassis, J.C. Autran, J. Adda, C. Beranger, G. Branlard, M. Brossard, P. Boissard, B. Cahagnier, N. Cavelier, R. Carles, A. Coleno, P. Colonna, C.A. Dedryver, A. Deshayes, P. Feillet, G. Doussinault, M.F. Gautier, B. Godon, P. Joudrier, H. Lapierre, V. Lullien, J.M. Machet, D. Marion, B. Mary, J.M. Meynard, R. Moletta, F. Nicolas, F. Papy, E. Picard,J.C.Remy, V. Requillard, R. Rivoal, J.C. Tirel, E. Triboi, M. Trouvelot, E. Valschesini

INRA, Direction de l'information et de la communication (DIC), 147, rue de l'Université, 75341 Paris Cedex 07. Tél : (1) 42 75 90 00.
Maquette : Philippe Dubois - Benoit de La Rochefordière - Éditions Chourgnoz / Imprimeur : AGIC IMPRIMERIE
Numéro de commission paritaire : 1799 ADEP